

PENGENDALIAN EMISI GAS BUANG BOILER BATUBARA DENGAN SISTEM ABSORBSI

Silvy Djayanti, Purwanto, Setia Budi Sasongko

Departemen Perindustrian

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Jl. Ki Mangun Sarkoro 6, Semarang

e-mail:silvy_bbtppi@yahoo.com

Abstract

Absorption study of emission gas (SO_2 , NO_2 , CO , and CO_2) from coal boiler with NaOH absorber waste of textile industry has been done. Acid gasses neutralized and particulate trapped by NaOH solution. NaOH was chosen for efficiency of waste neutralized and obtained from waste absorber and conventional textile finishing process (NaOH) with the concentration of 100 mol/m^3 . Emitted disposal gas concentration at flow rate 500, 1000, 2500, 5000, and 10,000 L/hour before and after absorption was measured and analyzed using MATLAB and EXCEL software. There was no significant difference between observation and theoretical calculation data ($P < 0,05$). At flow rate 2500 L/hour concentration of emission gas have shown under threshold values. A liquid-gas absorption model that obtained from this study could be used to predict optimum flow rate required for reducing the emission gas concentration to the quality threshold values.

Keywords: *Gas absorber, boiler disposal gas emission, NaOH textile waste, Liquid-gas Absorption Mode*

PENDAHULUAN

Pencemaran udara yang dihasilkan dari emisi boiler berbahan bakar batubara memberikan kontribusi yang besar bagi pencemaran lingkungan. Data yang diperoleh dari boiler batubara di unit utilitas pada bulan Juli 2006 di Industri tekstil di kota Pekalongan, menunjukkan konsentrasi SO_2 , NO_2 , CO , dan CO_2 masih tinggi. Bahkan SO_2 mencapai $1144,16 \text{ mg/m}^3$ yang berarti di atas baku mutu sumber tidak bergerak untuk utilitas dan boiler, menurut Surat Keputusan Gubernur Jateng No. 10 tahun 2000. Sementara itu untuk parameter NO_2 $125,60 \text{ mg/m}^3$, CO $6,514 \text{ mg/m}^3$, dan CO_2 $6,73$.¹

Hal ini berbeda jauh kondisinya dengan boiler dengan bahan bakar minyak yang konsentrasi gas buangnya jauh lebih kecil daripada boiler dengan bahan bakar batubara. Data konsentrasi emisi dari boiler berbahan bakar solar jauh di bawah nilai ambang yaitu

SO_2 maksimal $81,145 \text{ mg/m}^3$, NO_2 $55,50 \text{ mg/m}^3$, CO $0,115 \text{ mg/m}^3$, CO_2 $0,070 \text{ mg/m}^3$, dan partikulat $27,255 \text{ mg/m}^3$.

Data emisi tahun 2006 menunjukkan kenaikan konsentrasi gas emisi cerobong pada tahun sebelumnya yaitu tahun 2005, konsentrasi SO_2 $967,26 \text{ mg/m}^3$, NO_2 $113,56 \text{ mg/m}^3$, CO $25,8 \text{ mg/m}^3$.² Peningkatan emisi boiler berbahan bakar batubara diprediksikan di tahun mendatang akan lebih mengalami peningkatan ditambah dengan usia boiler yang sudah semakin tua dan pemakaian bahan bakar batubara yang dipakai karena pertimbangan ekonomis. Hal ini perlu diimbangi dengan instalasi penanggulangan pencemaran dan perawatan alat yang kontinyu.

Perumusan masalah yang muncul dari studi kasus di pabrik tekstil di Pekalongan yaitu boiler dengan sistem pembakaran *fluidized bed* dengan kapasitas produksi 10 ton/ jam yang telah diserap oleh absorber menghasilkan emisi

gas yang belum sesuai dengan Keputusan Gubernur No. 10 Tahun 2000, yaitu melebihi baku mutu emisi sumber tidak bergerak. Efisiensi proses penyerapan antara fase cair pada absorber dan fase gas buang dari boiler adalah faktor yang perlu diperhatikan dalam pengendalian emisi gas buang boiler batubara sistem absorpsi. Gas buang emisi SO_1 , NO_2 , CO , dan CO_2 harus diminimasi untuk mengendalikan dampak pencemaran akibat emisi yang dihasilkan.

Hipotesa yang muncul yaitu laju alir absorban akan meningkatkan penyerapan gas emisi boiler (SO_2 , NO_2 , CO , CO_2) yang berakibat menurunnya konsentrasi gas emisi boiler yang dibuang ke udara. Pemilihan penyerap gas emisi yang bersifat asam, lebih efisien menggunakan absorben yang bersifat basa.

Dari perumusan masalah, dihasilkan tujuan penelitian yaitu untuk menganalisis emisi gas buang boiler batubara, memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan atau tidak. Selain itu juga menganalisis agar penyerapan bisa dijadikan sebagai sebuah model dalam mengendalikan konsentrasi gas buang emisi, dan melakukan simulasi optimasi laju alir NaOH yang optimal sehingga gas buang emisi memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Diharapkan penelitian ini dapat memberi manfaat dan informasi ilmiah mengenai kondisi yang ada sebagai dasar masukan kepada pihak industri dalam meningkatkan efisiensi penyerapan gas emisi. Memberikan solusi efisiensi penyerapan emisi gas dengan menentukan laju alir absorber yang tepat. Menginformasikan dan membantu memberikan rasa aman bagi masyarakat di sekitar lokasi pabrik bahwa gas buang emisi khususnya SO_2 , NO_2 , CO , dan CO_2 dapat diminimasi sehingga dampak pencemaran dapat ditekan seminimal mungkin.

METODA PENELITIAN

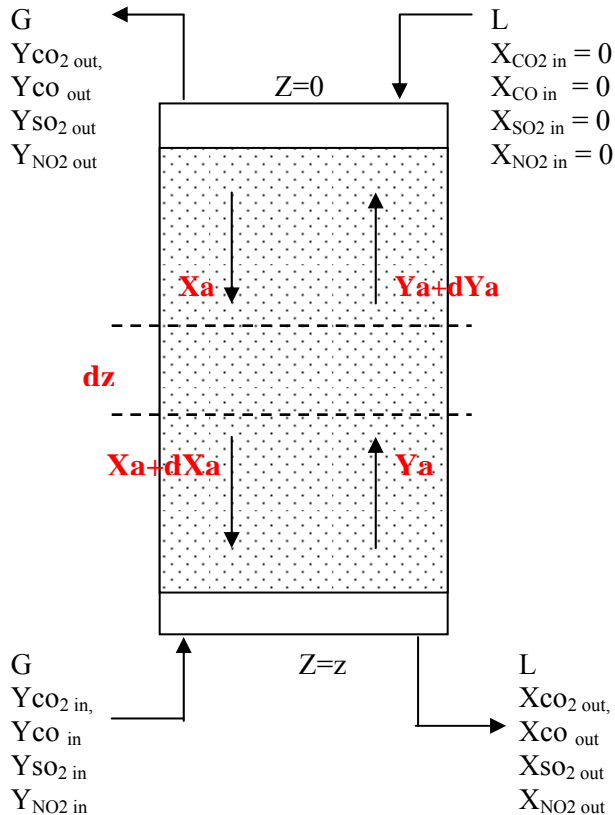
Pengamatan penelitian meliputi emisi boiler batubara, pencatatan dan analisa laboratorium emisi gas buang sebelum dan sesudah absorber, pencatatan laju alir gas dan penyerap, pencatatan spesifikasi dan dimensi absorber gas, evaluasi proses absorpsi, perhitungan efisiensi penyerapan cair-gas, dan perhitungan konsentrasi gas keluar absorber gas.

Penelitian dimulai dari pengambilan emisi gas buang boiler yang telah diserap di *absorber* dengan mengubah laju alir cairan NaOH. Pengambilan sampel gas SO_2 , NO_2 , CO , dan CO_2 sebelum dan sesudah absorber dengan kantong udara (*bag air sampler*) pada saat boiler dan absorber sedang beroperasi. Pengambilan sampel gas sebelum masuk absorber diambil pada lubang saluran output boiler-input absorber dan output absorber diambil pada *sampling hole* cerobong. Kondisi ini divariasi dengan laju alir larutan NaOH yang berasal dari limbah cair proses pembuatan tekstil. Untuk menganalisa sampel emisi digunakan *gas analyzer*.

Pengolahan data dihitung menggunakan program *Matlab* dan *excel*, dengan menyusun neraca komponen dan menghitung K_g (koefisien transfer massa gas-cair) untuk mendapatkan jumlah gas emisi SO_2 , NO_2 , CO , dan CO_2 yang terserap sehingga bisa diketahui gas buang yang diemisikan absorber.

Variabel penelitian meliputi variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap adalah konsentrasi larutan NaOH, laju alir gas masuk *absorber*, konsentrasi gas masuk absorber, temperatur gas masuk, dimensi *absorber*, dan waktu pengambilan sampel. Sedangkan variabel berubah adalah laju alir cairan penyerap (NaOH).

Teknik analisis data sebagai hasil akhir membuat kurva hubungan konsentrasi gas emisi boiler batubara vs laju alir absorber. Menganalisis perbedaan hasil percobaan dan perhitungan dari kurva kemudian mencari titik optimasi laju air terhadap baku mutu emisi.



Gambar 2. Penampang absorber gas.

Keterangan :

- a = area mass transfer per unit volume, ft^2/ft^3
- G = laju alir gas inert, mol/jam
- K_g = konstanta transfer massa, mol/jam(ft^2)
- L = laju alir cairan inert, mol/jam
- H = konstanta henry
- S = tower cross section, ft^2
- X = mol fraksi komponen dalam fase cair, mol/mol cairan inert
- Y = mol fraksi komponen dalam fase gas, mol/mol gas inert
- z = tinggi absorber, ft

Pada Gambar 2 bisa ditampilkan gas masuk (G_{in}) pada bagian bawah absorber, berlawanan arah dengan cairan NaOH penyerap dari atas absorber (L_{in}). Gas dihisap dengan pompa vakum di bagian atas absorber melewati *packing* (dz) lalu keluar dari outlet atas absorber (G_{out}). Reaksi kimia dalam absorber terjadi pada *packing* absorber, dimana cairan NaOH yang membasahi *packing* mengalami kontak langsung dengan gas yang melewatinya. Cairan NaOH yang telah kontak dengan gas emisi akan keluar pada bagian bawah absorber (L_{out}).

Penjelasan proses absorpsi gas-cair melalui lapisan film akan dijelaskan pada persamaan 5-22.

$$\text{Input} = LX_A + GY_A \quad (5)$$

$$\text{Output} = L(X_A + \frac{d(X_A)}{dz} dz) + G[Y_A + \frac{d(Y_A)}{dz} dz] + kSHoX_A X_B dz \quad (6)$$

Asumsi keadaan steady state

Accumulation = 0

Input – output = accumulation

$$LX_A + GY_A - \left[L(X_A + \frac{d(X_A)}{dz} dz) + G[Y_A + \frac{d(Y_A)}{dz} dz] + kSHoX_A X_B dz \right] = 0 \quad (7)$$

$$-L \frac{d(X_A)}{dz} - G \frac{d(Y_A)}{dz} - kSHoX_A X_B = 0 \quad (8)$$

Sehingga yang dipertimbangkan fase gasnya saja. Neraca massa untuk komponen A :

$$\text{Input} = GY_A$$

$$\text{Output} = G[Y_A + \frac{d(Y_A)}{dz} dz] - K_{Ga}S(Y_A - Y_A^*) dz \quad (9)$$

Accumulation = 0

Kemudian neraca massa fase gas adalah :

Input – output = accumulation

$$GY_A - \left[G[Y_A + \frac{d(Y_A)}{dz} dz] + K_{Ga}S(Y_A - Y_A^*) dz \right] = 0 \quad (10)$$

$$G \frac{dY_A}{dz} - K_{Ga} S(Y_A - Y_A^*) = 0 \quad (11)$$

$$Y_A^* = H X_A \quad (12)$$

$$G \frac{dY_A}{dz} - K_{Ga} S(Y_A - H X_A) = 0 \quad (13)$$

subtitusikan persamaan (4.4) ke persamaan (4.9) maka didapat

$$L \frac{d(X_A)}{dz} - K_{Ga} S(Y_A - H X_A) + k_{SH} X_A X_B = 0 \quad (14)$$

dengan pendekatan yang sama maka didapatkan

$$G \frac{dY_{CO_2}}{dz} - K_G a S(Y_{CO_2} - H X_{CO_2}) = 0 \quad (15)$$

$$G \frac{dY_{CO}}{dz} - K_G a S(Y_{CO} - H X_{CO}) = 0 \quad (16)$$

$$G \frac{dY_{SO_2}}{dz} - K_G a S(Y_{SO_2} - H X_{SO_2}) = 0 \quad (17)$$

$$G \frac{dY_{NO_2}}{dz} - K_G a S(Y_{NO_2} - H X_{NO_2}) = 0 \quad (18)$$

$$L \frac{d(X_{CO_2})}{dz} - K_G a S(Y_{CO_2} - H X_{CO_2}) + k_1 S H \sigma^3 X_{CO_2} X_{NaOH}^2 = 0$$

$$L \frac{d(X_{SO_2})}{dz} - K_G a S(Y_{SO_2} - H X_{SO_2}) + k_2 S H \sigma^3 X_{SO_2} X_{NaOH}^2 = 0 \quad (20)$$

$$L \frac{d(X_{NO_2})}{dz} - K_G a S(Y_{NO_2} - H X_{NO_2}) + k_3 S H \sigma^3 X_{NO_2} X_{NaOH} = 0 \quad (21)$$

$$L \frac{d(X_{NaOH})}{dz} + k_1 S H \sigma^3 X_{CO_2} X_{NaOH}^2 + k_2 S H \sigma^3 X_{SO_2} X_{NaOH}^2 + k_3 S H \sigma^3 X_{NO_2} X_{NaOH} = 0 \quad (22)$$

Dengan boundary condition

$$Z=0 \rightarrow Y_{CO_2} = Y_{CO_2 \text{ out}} ; Y_{CO} = Y_{CO \text{ out}} ; Y_{SO_2} = Y_{SO_2 \text{ out}} ; Y_{NO_2} = Y_{NO_2 \text{ out}} ; X_{CO_2} = 0 ; X_{CO} = 0 ; X_{SO_2} = 0 ; X_{NO_2} = 0 ; X_{NaOH} = X_{NaOH \text{ in}}$$

$$Z=Z \rightarrow Y_{CO_2} = Y_{CO_2 \text{ in}} ; Y_{CO} = Y_{CO \text{ in}} ; Y_{SO_2} = Y_{SO_2 \text{ in}} ; Y_{NO_2} = Y_{NO_2 \text{ in}} ; X_{CO_2} = X_{CO_2 \text{ out}} ; X_{CO} = X_{CO \text{ out}} ; X_{SO_2} = X_{SO_2 \text{ out}} ; X_{NO_2} = X_{NO_2 \text{ out}} ; X_{NaOH} = X_{NaOH \text{ o}}$$

HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

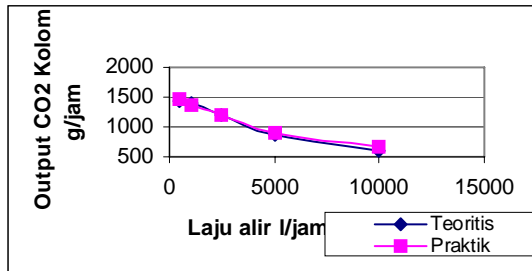
Dengan melihat material yang akan dikontakkan ke dalam absorber yaitu gas asam dan cairan penyerap basa, maka proses ini termasuk dalam absorpsi kimia, di mana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Absorpsi kimia mempengaruhi peningkatan koefisien perpindahan massa (KgA) disebabkan oleh makin besarnya luas efektif antar muka.

Dari identifikasi lapangan didapatkan data bahwa pada proses pembakaran di unit utilitas menghasilkan limbah konsentrasi tinggi yang dapat mencemari lingkungan. Jenis parameter yang diamati pada penzelitian ini adalah SO₂, NO₂, CO, CO₂ seperti pada Tabel 1.

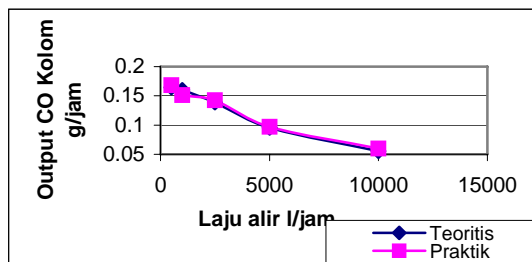
Tabel 1. Emisi gas buang sebelum dan sesudah absorber dalam satuan mg/m³

Gas	Gas emisi Sebelum Absorber	Konsentrasi (mg/m ³) gas emisi setelah Absorber pada laju alir					Baku Mutu (mg/ m ³)
		500 l/jam	1000 l/jam	2500 l/jam	5000 l/jam	10000l/ jam	
SO ₂	1512.76	1144.16	1034.97	665.34	563.72	501.81	800
NO ₂	324.275	125.608	114.16	106.27	87.682	67.029	1000
CO	8.5542	6.5143	5.8286	5.4857	3.7714	2.4000	-
CO ₂	125611.5	121112.5	112654.4	100237.2	74143.1	57766.8	-

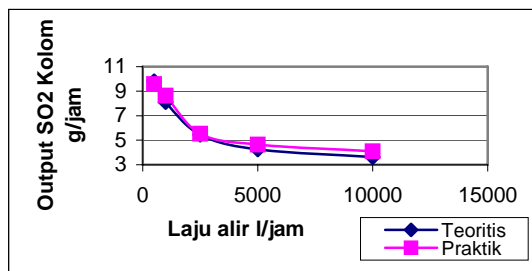
Gambar 3, 4, 5, dan 6 perbandingan hasil teoritis dan praktis dengan menggunakan program matlab dan excel Gambar



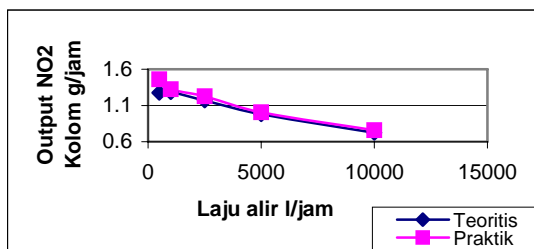
Gambar 3. Grafik perbandingan hasil teoritis dan hasil lapangan CO₂



Gambar 4. Grafik perbandingan hasil teoritis dan hasil lapangan CO



Gambar 5. Grafik perbandingan hasil teoritis dan hasil lapangan SO₂



Gambar 6. Grafik perbandingan hasil teoritis dan hasil lapangan NO₂

Dari Tabel 1. nampak bahwa semakin tinggi laju alir penyerap maka makin rendah konsentrasi gas buang yang keluar cerobong. Hasil tabel telah dikonversi menjadi mg/m³. Hasil percobaan penelitian di unit *boiler* untuk parameter SO₂ menunjukkan hasil yang melebihi baku mutu emisi sumber tidak bergerak sebesar 800 mg/m³. Hasil percobaan yang melebihi tersebut pada laju alir 500 & 1000 L/jam. Pada laju alir 2500 – 10000 L/jam, konsentrasi SO₂ dipastikan sudah di bawah baku mutu emisi yang disyaratkan menurut Keputusan Gubernur Jawa Tengah No 10 Tahun 2000. Untuk parameter NO₂, CO, dan CO₂ pada laju alir 500 L/jam sudah memenuhi baku mutu. Pada parameter CO dan CO₂ tidak ada baku mutunya. Penelitian CO dan CO₂ hanya untuk mengetahui besaran konsentrasi gas yang dibuang dan dampak terhadap masyarakat dan efek rumah kaca.

Data dihitung dengan menyusun neraca komponen dan menghitung parameter-parameter absorpsi gas SO₂, NO₂, CO, dan CO₂ sehingga simulasi pemodelan matematika dapat dilakukan untuk mengetahui gas buang yang diemisikan absorber. Parameter-parameter tersebut adalah K_{ga} (koefisien perpindahan massa) dan H (konstanta Henry), yang dihitung melalui suatu pemodelan matematika dengan memvariasi konsentrasi gas di fase gas dan cair.

Perhitungan dilakukan secara simultan menggunakan suatu pemrograman MATLAB untuk memperoleh harga koefisien perpindahan massa *overall* dan konstanta Henry. Urutan pemrograman dengan cara memasukkan model matematika dengan memasukkan kondisi batas (*Boundary Condition*) dari operasi absorpsi. Tebakan awal harga konstanta dimasukkan kemudian dilakukan simulasi kemudian hasil simulasi dicocokkan dengan batasan yang ada. Jika sudah cocok maka tebakan sudah benar, jika belum maka langkah

13 sampai 6 diulangi langkah-langkah di atas diulangi untuk variabel *flow rate* yang lain, lalu dibuat rumus empiris dari konstanta-konstanta dengan variabel bebas laju alir penyerap dilakukan simulasi ulang untuk mencari *flow rate* minimum.

Pada Gambar 3, 4, 5, dan 6 dapat dilihat bahwa penelitian dan hasil perhitungan perilaku penyerapan semakin besar dengan penambahan laju alir cairan NaOH penyerap yang diambil dari IPAL industri tekstil. Gas emisi telah memenuhi baku mutu emisi pada laju alir 2500 L/ jam. Hal ini disebabkan oleh harga K_{Ga} yang semakin besar berbanding lurus dengan laju alir. Harga K_{Ga} ditentukan oleh persamaan absorpsi fisik antara gas buang boiler dengan limbah NaOH. Molekul gas dalam keadaan tetap akan berdifusi dari tubuh gas ke permukaan batas gas cair. Fase selanjutnya adalah penyerapan dengan reaksi kimia untuk meningkatkan laju penyerapan dan menambah jumlah zat terlarut setelah penyerapan fisika.

Dari hasil perbandingan antara perhitungan/ simulasi dan percobaan didapatkan hasil perhitungan mendekati hasil penelitian, dengan persen kesalahan total 5%. Emisi yang dihasilkan pada perhitungan hasil penelitian lebih kecil daripada emisi hasil percobaan. Hal ini karena kondisi emisi hasil percobaan sangat fluktuatif dan banyak faktor saat percobaan sangat mempengaruhi, seperti tersumbatnya *spray* pada *absorber*. Optimasi laju alir yang didapat dari perhitungan adalah 2500 L/jam. Pada laju alir tersebut gas emisi SO_2 sudah di bawah baku mutu. Kondisi ini harus di jadikan sebagai acuan karena jika melebihi laju alir tersebut akan berdampak pada kinerja pompa dan daya listrik yang dibutuhkan, sehingga akan menimbulkan pemborosan energi.

Perhitungan neraca massa penyerapan didapatkan hasil gas yang terserap dalam satuan mol/jam, seperti Tabel 2.

Tabel 2. Emisi gas terserap absorber

Gas Emisi	Konsentrasi Gas emisi yang terserap (mol/jam) setelah absorber pada laju alir				
	500 l/jam	1000 l/jam	2500 l/jam	5000 l/jam	10000l/jam
CO ₂	2.039	4.471	8.005	15.308	19.924
CO	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004
SO ₂	0.053	0.067	0.116	0.130	0.138
NO ₂	0.052	0.055	0.057	0.062	0.067

Dari tabel 2. Gas yang terserap oleh limbah tekstil menunjukkan peningkatan pada laju alir absorben yang semakin besar. Penyerapan CO₂ terhadap limbah NaOH sangat besar. Ini ditunjukkan dari CO₂ yang sangat reaktif mengikat dan bereaksi dengan NaOH. Penyerapan pada parameter NO₂, CO, dan SO₂ juga meningkat tetapi cenderung kecil. Absorpsi gas yang terserap sangat tergantung pada suhu. Semakin tinggi suhu yang keluar dari *boiler*, semakin besar gas yang terserap. Bahan *absorben* NaOH dengan konsentrasi yang besar juga menambah tinggi gas yang terserap. Peningkatan laju alir NaOH meningkatkan harga koefisien transfer massa gas – cair (K_{Ga}), karena peningkatan laju alir NaOH akan menyebabkan kontak permukaan antara fase gas dan fase cair akan semakin baik. Larutan NaOH yang sudah banyak mengikat dan bereaksi dengan gas emisi akan segera digantikan dengan larutan penyerap yang baru. Hal ini akan menyebabkan jumlah gas emisi yang ditransfer dari fase gas ke fase cair per satuan waktu akan semakin banyak pula.

Perhitungan persamaan matematis dan dihitung dengan menggunakan program MATLAB, dihasilkan nilai K_{Ga} tiap laju alir, seperti pada Tabel.3.

Tabel 3. Koefisien transfer massa

Laju alir NaOH	K _{Ga} mol/jam.ft ²			
	SO ₂	NO ₂	CO	CO ₂
500	86.169	277.340	86.911	16.905
1000	115.720	305.680	117.510	38.472
2500	242.930	327.330	134.120	73.048
5000	292.670	384.090	244.170	161.350
10000	328.820	463.880	381.650	235.640

Dari Tabel 3. Koefisien transfer massa (K_{Ga}) menunjukkan peningkatan dengan bertambahnya laju alir cairan absorben. Hal ini disebabkan absorben yang kontak dengan gas emisi semakin besar, dan penyerapan cairan kimia terhadap gas emisi makin besar. Untuk menentukan harga K_{Ga} didasarkan pada waktu tertentu pada saat perpindahan massa berlangsung. Besarnya harga K_{Ga} tergantung dari tekanan, suhu emisi dan suhu absorben di dalam proses penyerapan gas.

Perhitungan mencari harga K_{Ga} dilakukan secara simultan dengan memasukkan harga mol gas dibagi mol gas inert (harga y) sebagai batas atas dan batas bawah. Dari perhitungan ini didapatkan pula konstanta Henry (H) sebesar 0,122 berdasarkan tebakan awal kondisi atas dan bawah konsentrasi gas emisi keluar cerobong dalam bentuk fraksi mol. Secara keseluruhan nilai konstanta Henry tidak ada perubahan terhadap laju alir.

KESIMPULAN

Perilaku penyerapan gas emisi semakin besar dengan penambahan laju alir cairan penyerap yang diambil dari IPAL industri tekstil. Gas emisi telah memenuhi baku mutu emisi pada laju alir 2500 L/ jam. Hal ini disebabkan kelarutan gas emisi yang bersifat asam akan cepat larut dengan penyerap basa. Pada harga K_{Ga} yang semakin besar berbanding lurus dengan laju alir.

Optimasi laju alir yang didapat dari perhitungan adalah 2500 L/jam. Pada laju alir tersebut gas emisi SO₂ sudah di bawah baku mutu. Kondisi ini harus dijadikan sebagai acuan

karena jika melebihi laju alir tersebut akan berdampak pada kinerja pompa dan daya listrik yang dibutuhkan, sehingga akan menimbulkan pemborosan energi.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹ Dutatex. PT. 2006, Hasil Pemeriksaan Kualitas Udara Emisi
- ² Faltatex. PT. 2006, Hasil Pemeriksaan Kualitas Udara Emisi
- ³ Howard E. Hesketh. 1996, Air Pollution Control : Traditional and Hazardous Pollutants, Southern Illinois University.
- ⁴ Levenspiel. Octave 1972. , Chemical Reaction Engineering, John Wiley & Sons Inc, New York.
- ⁵ Purwanto. 2005, Permodelan Rekayasa Proses dan Lingkungan, Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang.
- ⁶ Perry R, Chemical Engineering Handbook, Fifth Edition, Mc. Graw Hill, Kogakusha, Ltd. 1973

